

急曲線に構築する鉄道2層3径間断続合成桁の耐震性能に関する一考察

復建エンジニアリング 正会員 井口 光雄
 桜山 剛
 京浜急行電鉄(株) 小林 壮至
 吉住 陽行

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、鋼製橋脚の損傷事例が多く見られた。これらの損傷は、上部構造自重に相当する軸力と地震力である水平繰返し荷重が作用し橋脚下端が局部座屈した結果である。地震後、鉄道構造物を対象とした耐震設計手法が提案され、従来からの耐震設計手法に加えて材料の弾塑性挙動を考慮した地震応答解析を行う必要性が指摘されている。し

かし、本橋では図-1に示すように連続曲線桁($R=100m$)と形態の異なる鋼製橋脚で構成されるため、弾塑性挙動は特殊であり複雑な解析モデルとなることが予想される。

本報告は、鋼製橋脚を有する鉄道2層3径間断続曲線合成桁の設計について概略を示すとともに、弾塑性地震応答解析手法を用いた耐震性能検討結果について報告するものである。

2. 設計の基本

本橋は、図-2の完成予想図に示すように、道路を斜めに渡る曲線桁で鋼製橋脚は2層ラーメンであるため、桁は負の曲げモーメント区間を非合成とした断続合成桁とし、桁と鋼製橋脚は一体化した。これは両端支点部の揚力及びねじりに対応するためであり、接合部のFEM解析を行い応力伝達を確認することとした。静的断面力算定では梁要素を用い立体解析を行った。一方、橋脚は阪神・淡路大震災の教訓等を踏まえ、大地震時に鋼ラーメン構造物や鋼橋脚では、最大耐荷力付近で局部座屈が生じ急激に耐荷力が減少し良好な変形性能を保てなくなることから、大規模な地震力を吸収するため橋脚下部にコンクリートを充填してCFT構造とすることとした。また、地震時解析では有限変位の影響¹⁾を無視し、材料の非線形性を考慮した動的非線形解析を行うこととした。

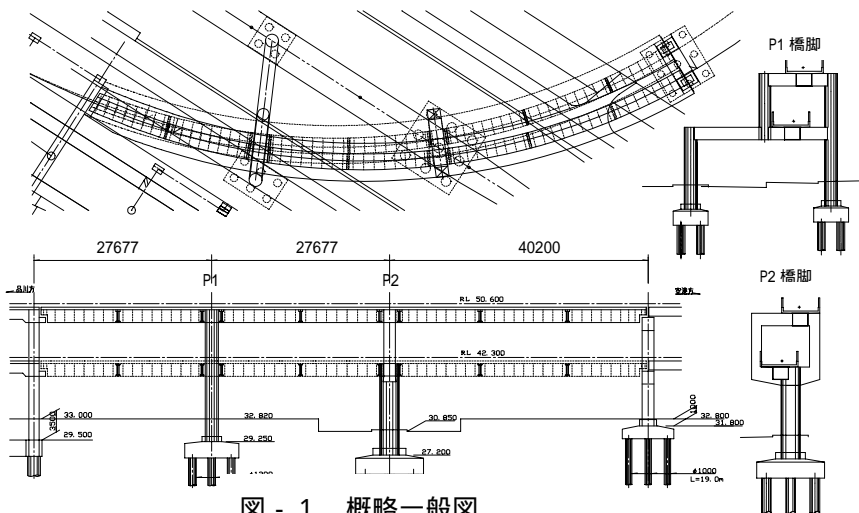


図-1 概略一般図



図-2 完成予想図

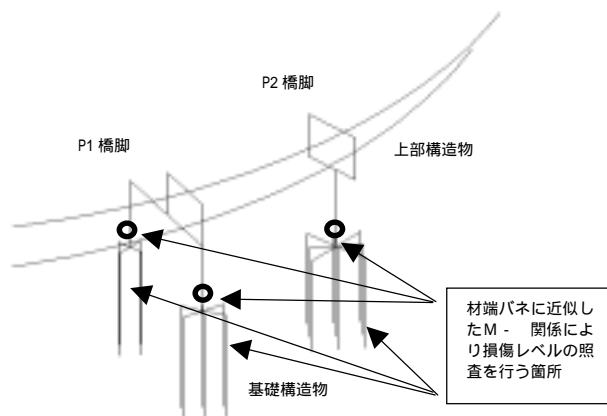


図-3 解析モデル図

Keywords : 鋼鉄道橋、断続合成桁、耐震設計、非線形解析

連絡先 : 〒104-0061 東京都中央区銀座1-2-1 TEL 03-3563-3129 FAX 03-3563-3127

3. 耐震性能評価のための解析

地震時の検討では「塑性変形はある程度許容するが、大きな破壊に至らず、復旧が可能な程度の耐震性能」を持つことを確認することとし、以下の考え方で図 - 3 に示す時刻歴応答解析モデルを作成した。

- (1) 解析モデルは3次元骨組モデルとする。また、杭基礎であることから、骨組解析モデルは地盤 - 基礎 - 構造系一体としてモデル化する。解析プログラムはRESP-Tを使用した。
- (2) あらかじめ実施した線形解析結果から塑性化する箇所を決定し、塑性化部材のみに非線形性を与えることとした。橋脚柱下端はCFT部材としてモデル化を行い、曲げに対して材端バネをトリリニヤ型のM - 関係を用いてモデル化した。等価塑性ヒンジ長 L_p は死荷重時の軸力より算出した値で行い軸力変動を考慮した。梁部材は線形モデルとし、地盤はばねモデルとしバイリニヤ型の非線形性を考慮する。杭も柱同様M - 関係を用いてモデル化し、部材長は1D程度に分割した。杭頭部には軸方向鉄筋の抜出しの影響を考慮するとともに軸力変動を考慮した。

- (3) 地震波形は、鉄道総研作成の人工地震波 L1 地震動:G4 地盤用地表面波、 L2 地震動(スペクトル): G4 地盤用地表面地震波(図 - 4) L2 地震動(スペクトル): 液状化地盤用地表面地震波の3波を用いることとした。この解析モデルでは、地震力の作用する方向によって最大応答値が異なると予想されるため、設計上最も厳しい加振方向を選択するための動的線形解析を行った。加速度の加振方向は 曲線弦方向、 曲線弦直角方向、 P 2 梁方向とし、選択には発生断面力が最も厳しくなる1本柱の P2 橋脚下端に着目し、 ~ で最大曲げモーメントを計算した。

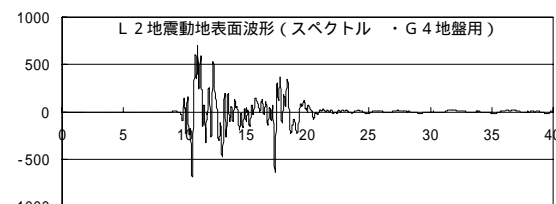


図 - 4 地震動波形の例

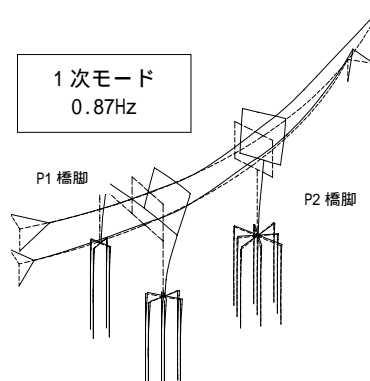


図 - 5 モード図

4. 考察

動的線形解析結果から最大値は曲線弦方向載荷のケースであった。図 - 5 に示す1次モード図からも妥当性が判断できる。図 - 5 に示す P2 橋脚天端の荷重 - 変位曲線からは P2 橋脚が先行して降伏することがわかる。図 - 6 には P2 橋脚下端の時刻歴部材角を示す。P2 橋脚下端の最初の降伏は 11.5 秒に発生しているが損傷レベル2 制限値までには余裕があることがわかる。また、25 秒以降部材角が 0 に戻っていないため残留変位が生じているが、P2 橋脚天端での残留変位は約 10mm 程度であるため、列車走行には問題はないと考えられる。表 - 1 に照査結果を示すが、本端では耐震性能2を満足していることがわかる。なお、課題として水平動に上下動を加えた解析を検討している。

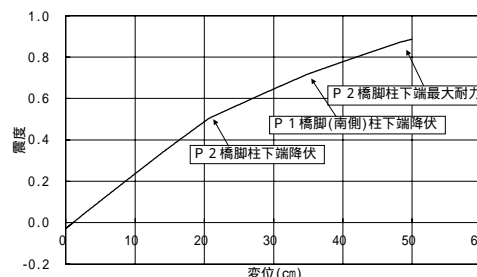


図 - 6 P2 荷重 - 変位曲線

表 - 1 L2 地震動照査結果

地盤種別		G 4 地盤 (Tg = 0.644sec)
入力地震波		L 2 地震地表面波 (スペクトル) 液状化時は液状化用の地表面波を使用
地震波の加振方向		曲線弦方向
部材の 損傷 レベル	P 1 柱 (北側)	1 (3)
	P 1 柱 (南側)	2 (3)
	P 2 柱	2 (3)
基礎の 安定 レベル	杭部材の損傷レベル	1 (2)
	基礎の安定レベル	1 (2)
耐震性能		耐震性能

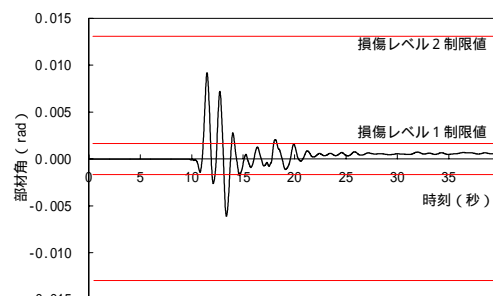


図 - 7 P2 下端時刻歴部材角

参考文献 1) 宇佐美勉、鈴木森晶、Iraj H. P. Mamaghani、葛漢淋: コンクリートを部分的に充填した構成橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案、土木学会論文集、No. 525、19995. 10